



⑮ **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENTAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 196 43 054 A 1**

⑤① Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**F 16 K 1/52**  
F 02 D 9/08

②① Aktenzeichen: 196 43 054.2  
②② Anmeldetag: 18. 10. 96  
④③ Offenlegungstag: 23. 4. 98

**DE 196 43 054 A 1**

⑦① **Anmelder:**  
Daimler-Benz Aktiengesellschaft, 70567 Stuttgart,  
DE

⑦② **Erfinder:**  
Denda, Michael, 89250 Senden, DE; Fleck, Wolfram,  
Dipl.-Ing., 89155 Erbach, DE; Sang, Jochen,  
Dipl.-Ing., 36381 Schlüchtern, DE

⑤⑥ **Entgegenhaltungen:**  
DE 41 00 086 A1  
DE 34 44 039 A1

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ **Ventil mit Laval-Düse und Verwendung desselben**

⑤⑦ Die Erfindung bezieht sich auf ein Ventil mit einer Laval-Düse, einer axial beweglich in die Laval-Düse eingreifenden Ventilnadel und einer den Ventilnadelfuß aufnehmenden Einlaßkammer, in die eine radial verlaufende Einlaßöffnung mündet.

Erfindungsgemäß ist die Einlaßkammer von der Eintrittsebene der Laval-Düse axial durch einen zwischenliegenden Strömungskanal beabstandet, welcher von der Ventilnadel einerseits und von einem die Ventilnadel umgebenden Ventilgehäuseabschnitt andererseits begrenzt ist. Dieses Ventil läßt sich insbesondere als Dosierventil zur Zudosierung eines Prozeßgases bei einem Reaktionsprozeß in einem Kraftfahrzeug mit Brennstoffzellenantrieb verwenden.

Verwendung z. B. als Dosierventil in brennstoffzellenbetriebenen Kraftfahrzeugen.

**DE 196 43 054 A 1**

Die Erfindung bezieht sich auf ein Ventil nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 sowie auf die Verwendung eines solchen Ventils.

Ein Ventil dieser Art ist in der Offenlegungsschrift DE 42 33 207 A1 offenbart. Das dortige Ventil wird als Belüftungsventil zur Belüftung evakuierter Räume verwendet. Die den Ventalnadelfuß aufnehmende Einlaßkammer, in welche die zu Belüftungszwecken verwendete Luft radial einströmt, befindet sich strömungsaufwärts direkt angrenzend an die Eintrittsebene der Laval-Düse. Das der Einlaßkammer zugewandte Stirnende der Laval-Düse dient als hubbegrenzende Anschlagfläche für einen korrespondierenden Anschlagbund des Ventalnadelfußes.

In der Offenlegungsschrift DE 36 26 681 A1 ist ein Ventil zur Steuerung der Luft- und/oder Kraftstoffmenge in Verbrennungskraftmaschinen beschrieben, das in einem zugehörigen Ansaugluft-Leitrohr angeordnet ist. Das Ventil beinhaltet eine Laval-Düse und einen darin eingreifenden Schließkörper, der eine kegelige Form mit kalottenartig gewölbt er Grundfläche besitzt und axial beweglich an einem Führungsrohr geführt ist. Der Düsen Eintrittsbereich wird von der kalottenartig gewölbten Schließkörperaußenfläche einerseits und einer diese mit Abstand umgebenden Blende konkaver Form andererseits definiert, an die direkt eine Einlaßkammer anschließt, welcher die angesaugte Luft- bzw. Kraftstoffströmung radial oder axial zugeführt ist.

Zur Zudosierung von Prozeßgasen sind in der Prozeßtechnik Dosierventile in Form von puls breitengesteuerten 2/2-Wegeventilen, Nadelventilen mit Stelleinrichtung oder proportional arbeitenden Magnetventilen bekannt. Für die genaue Zudosierung von Gasmengen in einen Prozeßreaktor mit schwankendem Innendruck muß dabei meist eine aufwendige Druckregelung installiert werden, um die gewünschte Dosiergenauigkeit einzuhalten. Zudem wird bei diesen herkömmlichen Ventilen oftmals ein aufwendiger Regelkreis mit entsprechender Sensorik benötigt. Hierzu benutzte Massenstrommeßeinrichtungen besitzen prinzipbedingt eine gewisse Trägheit, welche die Schnelligkeit von Dosierungsänderungen begrenzt.

Der Erfindung liegt als technisches Problem die Bereitstellung eines Ventils der eingangs genannten Art mit einer hinsichtlich Druckschwankungen vergleichsweise unempfindlichen Strömungsführung sowie eines vorteilhaften Verwendungszweckes für ein solches Ventil zugrunde.

Die Erfindung löst dieses Problem durch die Bereitstellung eines Ventils mit den Merkmalen des Anspruchs 1 sowie einer Verwendung gemäß Anspruch 4.

Bei dem Ventil nach Anspruch 1 ist die Einlaßkammer, in welche eine oder mehrere radial verlaufende Einlaßöffnungen münden, von der Eintrittsebene der Laval-Düse axial durch einen zwischenliegenden Strömungskanal beabstandet, welcher radial nach innen von der Ventalnadel und radial nach außen von einem die Ventalnadel mit entsprechendem Zwischenraum umgebenden Ventilgehäuseabschnitt begrenzt ist. Durch diese Maßnahme erfolgt die Umlenkung der radial zugeführten Strömung in die im Laval-Düsenbereich axiale Strömung bereits mit einem der Länge des Strömungskanals entsprechenden Abstand vor dem Düsen Eintritt. Die durch das Ventil hindurchgeführte Strömung verläuft damit über die Länge dieses Strömungskanals hinweg bereits vor Erreichen des engsten Durchtrittsquerschnitts im Laval-Düsenbereich in der axialen Richtung, in der sie auch die Laval-Düse passiert. Dadurch kann sich im Bereich des engsten Durchtrittsquerschnitts der Laval-Düse die dortige, kritische Düsendurchströmung ( $M = 1$ ) stabil einstellen, ohne daß Druckschwankungen, insbesondere des an der

Austrittsseite der Laval-Düse herrschenden Gegendrucks, diese stabile Durchströmung merklich stören.

Die bei dem erfindungsgemäßen Ventil vorliegende Beabstandung des Strömungsumlenkbereichs, d. h. der Einlaßkammer, von der Eintrittsebene der Laval-Düse bewirkt zudem, daß die Strömungsumlenkung in einer Zone erfolgt, in welcher die Strömungsgeschwindigkeit noch merklich geringer als im Eintrittsbereich der Laval-Düse ist. Damit lassen sich die Strömungsumlenkverluste gering halten, was wiederum bedeutet, daß sich das Ventil über einen relativ großen nutzbaren Betriebsbereich des Verhältnisses von Gegendruck zu Vordruck, d. h. von düsenaustrittsseitigem zu düseneintrittsseitigem Druck, zur Bereitstellung gewünschter, definierter Strömungsverhältnisse verwenden läßt.

Ein nach Anspruch 2 weitergebildetes Ventil besitzt günstige Durchströmungseigenschaften sowie eine von außerhalb der Laval-Düse angeordneten Anschlagflächen definierte Ventalnadelhubbegrenzung, so daß die Laval-Düsenflächen nicht mit entsprechenden Anschlagkräften belastet werden.

Bei einem nach Anspruch 3 weitergebildeten Ventil ist eine in das Ventilgehäuse eingesetzte Hülse vorgesehen, welche zum einen als Führung für die axial bewegliche, durch die Hülse hindurchgeführte Ventalnadel dient und zum anderen mit einer oder mehreren axial verlaufenden Ausnehmungen versehen ist, die in diesem Bereich den entsprechenden Abschnitt des zwischenliegenden Strömungskanals bilden.

Gemäß Anspruch 4 wird das erfindungsgemäße Ventil als Dosierventil zur Zudosierung eines Prozeßgases für einen Reaktionsprozeß in einem brennstoffzellenbetriebenen Kraftfahrzeug verwendet. Mit dem Ventil ist mit vergleichsweise geringem Aufwand eine sehr genaue Zudosierung des betreffenden Prozeßgases erzielbar, was für die entsprechenden Reaktionen in den Brennstoffzellen selbst und/oder den diesen vorgeschalteten Reaktoren, z. B. Reformierungsreaktoren zur Wasserstoffgewinnung, von großer Bedeutung ist. Der erfindungsgemäße Ventilaufbau macht es dabei möglich, in kostengünstiger Weise ohne aktive Sensorik und Regelkreise den gewünschten Massenstrom weitgehend unabhängig von Druckschwankungen einzustellen.

Eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und wird nachfolgend beschrieben.

Die einzige Figur zeigt eine Längsschnittansicht eines in brennstoffzellenbetriebenen Kraftfahrzeugen verwendbaren Dosierventils.

In brennstoffzellenbetriebenen Kraftfahrzeugen wird den Brennstoffzellen unter anderem Wasserstoff zugeführt, der beispielsweise aus einer Methanolreformierungsreaktion gewonnen wird. Dabei muß das Eduktgas aus dem Reformierungsreaktor von schädlichem Kohlenmonoxid gereinigt werden, um die nachfolgenden Brennstoffzellen nicht zu schädigen. Dies kann bekanntermaßen z. B. mittels selektiver Oxidation bewerkstelligt werden, wobei der Luftsauerstoff dem Prozeß fein dosiert und abhängig vom Eduktstrom proportional oder nach einer vorgegebenen Abhängigkeit zudosiert wird, vorzugsweise in mehreren, hintereinander angeordneten Reaktoren. Die einzelnen Reaktoren unterliegen unterschiedlichen Druckniveaus, wobei als zusätzliche Randbedingung bei diesen mobilen Anwendungen betriebsbedingte Druckschwankungen von bis zu 50% des Nenn- oder Auslegungsdruckes auftreten. Das gezeigte Ventil läßt sich dazu verwenden, den Luftsauerstoff trotz dieser Bedingungen ohne hohen technischen Regelungsaufwand mit ausreichender Genauigkeit zuzudosieren. Es erlaubt außerdem hohe Stellgeschwindigkeiten, wie sie für den Prozeß der Wasserstoffgaserzeugung unter den üblichen, dynamischen

Fahrzeugbetriebsbedingungen gefordert werden.

Das gezeigte Ventil besitzt hierzu einen speziellen Aufbau, der eine Düse **1** in Form einer sogenannten Laval-Düse umfaßt, die in einem eintrittsseitigen Abschnitt **1a** einen konvergenten und in einem austrittsseitigen Abschnitt **1b** einen divergenten Strömungsquerschnitt besitzt und in eine zugehörige axiale Aufnahmebohrung eines Ventilgehäuses **9** eingesetzt ist. In die Laval-Düse **1** greift mit ihrer Spitze **8** in Strömungsrichtung weisend eine speziell geformte, nach vorn zugespitzt verlaufende Ventilnadel **4** ein, die in axialer Richtung beweglich im Ventilgehäuse **9** angeordnet ist. Durch die axiale Verschiebung der Ventilnadel **4** wird die Größe des engsten Durchtrittsquerschnitts **5** des Ventils eingestellt, der stets im Bereich der Düse **1** liegt. Der Fuß **2** der Ventilnadel **4** befindet sich innerhalb einer Einlaßkammer **3** und ist mit einem Linearaktuator **10** verbunden, über den die Ventilnadel **4** elektrisch angetrieben in die jeweils gewünschte Axialposition gesteuert werden kann. Die Einlaßkammer **3** ist von einer Axialbohrung gebildet, die auf der düsenabgewandten Seite in das zylindrische Ventilgehäuse **9** eingebracht und an ihrem düsenabgewandten Ende durch den Linearaktuator **10** unter Zwischenfügung eines Dichtungs **16** abgeschlossen ist. In die Einlaßkammer **3** mündet eine radial verlaufende Einlaßöffnung **11** ein.

Die Einlaßkammer **3** ist axial von der Eintrittsebene **13** der Laval-Düse **1** um die Länge eines zwischenliegenden Strömungskanals **14** beabstandet, der radial nach innen von der Ventilnadel **4** und radial nach außen vom entsprechenden Ventilgehäuseabschnitt begrenzt ist. Ein eintrittskammerseitiger Abschnitt dieses zwischenliegenden Strömungskanals **14** ist dabei von mehreren Ausnehmungen **14a** gebildet, von denen in der Fig. 1 eine zu erkennen ist und die axial verlaufend und mit äquidistantem Umfangsabstand an der Innenseite einer Hülse **12** ausgebildet sind, die in eine zugehörige axiale Ventilgehäusebohrung mit Preßsitz eingesetzt ist. Die Ventilnadel **4** ist durch diese Hülse **12** hindurchgeführt und liegt gegen deren radiale Innenflächenbereiche zwischen den Ausnehmungen **14a** mit einem noch nicht zugespitzten Bereich gleitend an, so daß sie in ihrer Axialbewegung von der Hülse **12** geführt wird. Die Ausnehmungen **14a** münden in Strömungsrichtung in einen düsenseitigen Abschnitt **14b** des zwischenliegenden Strömungskanals **14**, wobei dieser düsenseitige Abschnitt **14b** von einem weiteren Axialbohrungsbereich des Ventilgehäuses **9** gebildet ist und einen gegenüber dem Gesamtdurchtrittsquerschnitt der axial verlaufenden Ausnehmungen **14a** der Hülse **12** größeren Durchtrittsquerschnitt besitzt.

Die Ventilnadel **4** besitzt an ihrem Fuß **2** einen Anschlagbund **6**, der die axiale Hubbewegung der Ventilnadel **4** in Strömungsrichtung dadurch begrenzt, daß er gegen das eintrittskammerseitige Stirnende **15** der eingesetzten Hülse **12** anschlägt, das mit einem elastischen Dichtring **7** versehen ist. Der Dichtring **7** gewährleistet für die durch diesen Anschlag definierte, geschlossene Ventilstellung eine vollständige Gasdichtheit zwischen der Einlaßkammer **3** und dem in Strömungsrichtung anschließenden Strömungskanal **14**. In geöffneter Ventilstellung kann entsprechend dem gezeigten Strömungspfeil **S** ein dampf- oder vorzugsweise gasförmiges Medium unter einem bestimmten Vordruck über die Einlaßöffnung **11** in die Einlaßkammer **3** in radialer Richtung eingeleitet werden. In der Einlaßkammer **3** wird die Strömung **S** in Axialrichtung umgelenkt und tritt durch die Ausnehmungen **14a** an der Innenseite der eingesetzten Hülse **12** in den düsenseitigen Abschnitt **14b** des zwischenliegenden Strömungskanals **14** ein. Von dort strömt das Medium in die Laval-Düse **1** und durchquert diese unter Beibehaltung der schon im vorgeschalteten Strömungskanal **1** vorliegenden, im wesentlichen axialen Strömungsrichtung.

Durch die spezielle Gestaltung der Düse **1** und des in diese eingreifenden Bereichs der Ventilnadel **4** wird erreicht, daß sich der Massenstrom des das Ventil durchquerenden Mediums, der vom Wert des engsten Durchtrittsquerschnitts **5** des Ventils abhängig ist und damit durch die Axialbewegung der Ventilnadel **4** auf einen gewünschten Wert einstellbar ist, über einen weiten Bereich möglicher Schwankungen des Verhältnisses des am Düsenausgang herrschenden Gegendrucks zu dem Vordruck, unter dem das Medium in das Ventil einströmt, im wesentlichen konstant halten läßt. Während der Massenstrom bei gegebenem, engstem Ventildurchtrittsquerschnitt im Fall von herkömmlichem Drosselstellen meist schon ab einem Druckverhältnis von etwa 0,53 (für zweiatomige Gase ist  $\kappa = 1,4$ ) mit wachsendem Druckverhältnis merklich abnimmt, bleibt er beim gezeigten Ventil bis zu einem Druckverhältnis von etwa 0,8 näherungsweise konstant.

Mit dem gezeigten Ventil läßt sich somit ein gas- oder dampfförmiges Medium mit geringem Aufwand vergleichsweise genau zudosieren, ohne daß ein Sensor im Linearaktuator **10** oder eine Massenstromerfassung zur Istwertgewinnung für einen Regelkreis erforderlich ist. Das Ventil arbeitet im Auslegungsbereich aufgrund der Laval-Strömungsbedingungen praktisch gegendruckunabhängig. Durch den Einsatz der Laval-Düse **1** kann der Vordruck um bis zu 30% gegenüber einer herkömmlichen Drosselstelle abgesenkt werden, wodurch sich auch die zu installierende Verdichterarbeit und dadurch die Leistungsaufnahme entsprechend reduziert. Da kein Differenzdruckregler zur Kompensation von Gegendruckschwankungen erforderlich ist, wird ein kompakter Ventil Aufbau ermöglicht.

Bei konstantem Vordruck und konstanter Vorlauftemperatur ist der Massenstrom durch das Ventil streng linear von der Fläche des engsten Durchtrittsquerschnitts abhängig. Der konstante Vordruck wird üblicherweise durch ein Überdruckventil, das einem entsprechenden Verdichter zugeordnet ist, bereitgestellt. Zusätzliche Meßsensorik und Druckregelorgane zur Massenstromsteuerung können entfallen. Da die Ventilnadel axial kontinuierlich bewegbar ist, unterliegt sie nur einem sehr geringen Verschleiß, so daß keine Degradation der Dosiergenauigkeit auftritt. Das Ventil ist ohne weiteres auf eine Temperaturfestigkeit bis 130°C auslegbar, bei geeigneter Isolation des Linearaktuators **10** auch auf höhere Temperaturen. Die Ansteuerung des Linearaktuators **10** kann über die herkömmlicherweise in Kraftfahrzeugen vorhandenen Elektronikkomponenten bzw. Rechereinheiten erfolgen. Neben dem bereits explizit erwähnten Verwendungszweck ist das erfindungsgemäße Ventil, das zudem trockenlauffähig ist, zur Zudosierung beliebiger nicht aggressiver Gase und Brenngase in chemischen Prozeßanlagen einsetzbar, wie beispielsweise Wasserstoff, Stickstoff, Luft, Methan, Butan, Propan und Wasserdampf.

#### Patentansprüche

1. Ventil mit
  - einer Laval-Düse (**1**),
  - einer axial beweglich in die Laval-Düse eingreifenden Ventilnadel (**4**) und
  - einer den Ventilnadelfuß (**2**) aufnehmenden Einlaßkammer (**3**), in die eine radial verlaufende Einlaßöffnung (**11**) mündet, **dadurch gekennzeichnet**, daß
  - die Einlaßkammer (**3**) von der Eintrittsebene (**13**) der Laval-Düse (**1**) axial durch einen zwischenliegenden Strömungskanal (**14**) beabstandet ist, welcher von der Ventilnadel (**4**) einerseits und von einem die Ventilnadel umgebenden Ventilge-

häuseabschnitt andererseits begrenzt ist.

2. Ventil nach Anspruch 1, weiter dadurch gekennzeichnet, daß der Strömungskanal (14) aus einem düsenseitigen Abschnitt (14b) und einem einlaßkammerseitigen Abschnitt (14a) besteht, wobei letzterer einen kleineren Durchtrittsquerschnitt als der düsenseitige Abschnitt besitzt und wobei das einlaßkammerseitige Stirnende (15) des den einlaßkammerseitigen Strömungskanalabschnitt radial nach außen begrenzenden Ventilgehäuseabschnitts als hubbegrenzende Anschlagfläche für einen korrespondierenden Anschlagbund (6) am Ventilnadelfuß (2) fungiert.
3. Ventil nach Anspruch 2, weiter dadurch gekennzeichnet, daß der den einlaßkammerseitigen Strömungskanalabschnitt radial nach außen begrenzende Ventilgehäuseabschnitt aus einer in eine Ventilgehäusebohrung eingesetzten Hülse (12) besteht, die an ihrer Innenseite mit einer oder mehreren, den einlaßkammerseitigen Strömungskanalabschnitt bildenden, axial verlaufenden Ausnehmungen (14a) versehen ist und mit ihrem radial innenliegenden Innenflächenbereich als Führung für die axial beweglich hindurchgeführte Ventilnadel (4) dient.
4. Verwendung des Ventils nach einem der Ansprüche 1 bis 3 als Dosierventil zur Zudosierung eines Prozeßgases für einen Reaktionsprozeß in einem brennstoffzellenbetriebenen Kraftfahrzeug.

---

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

---

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

